

基于模糊规划和不确定 OWA 算子 的病床合理安排模型

摘 要

本文根据某眼科医院的病床安排情况，建立基于不确定规划和不确定 OWA 算子的病床合理安排模型。

首先，我们对该眼科医院的病床安排情况进行分析，提取六个基本指标，综合成病床等待指数和服务质量指数，构建了两级的评价指标体系。

模型 1 提出了基于连续区间有序加权平均 (C-OWGA) 算子的模糊综合评价模型，同时提出了区间数的距离的概念和两个评价参考标准。根据模型 1，该眼科医院的综合指数与参考标准的距离为 1.55035 和 0.2522，结果显示病床安排极其不合理。

模型 2 建立了基于模糊线性规划的病床安排模型，并对重新安排的病床情况利用模型 1 进行综合评价，得到综合指数与参考标准的距离分别为 0.17945 和 0.1313，相对于该眼科医院以前的安排来说，其等待效率和服务效率分别提高了 88.43% 和 47.94%。

模型 3 建立了基于不确定 OWA 算子的等待入院病人模糊综合评价模型，根据仿真分析得到等待入院的病人相关指标集结权重，从而可以根据第二天拟出院的人数来安排哪些病人入院。

模型 4 建立基于住院病人及等待住院病人的病人入住时间确定模型，并建立了病人入住时间的可视化图形操作系统。

模型 5 基于周六、周日不安排手术对模型 2 进行了修改，并对病床进行了安排，用模型 1 进行评价，相对于该眼科医院以前的安排来说，其等待效率和服务效率分别下降了 75.01% 和 2.72%；模型 6 对手术时间的安排做出了调整，并对病床重新进行安排，得到等待效率和服务效率分别上升了 28% 和 13.13%。

模型 7 建立了基于平均逗留时间最短的模糊最优病床比例分配模型，并通过仿真分析得到白内障（单眼）的病床分配比例为 18.87%—18.95%，白内障（双眼）的病床分配比例为 25.01%—25.19%，视网膜疾病的病床分配比例为 11.97%—12.39%，青光眼的病床分配比例为 31.97%—32.05%，外伤的病床分配比例为 11.02%—11.07%。

最后对模型进行了灵敏度分析，并对模型进行了评价、改进和推广。

关键词：线性规划，C-OWGA 算子，UOWA 算子，区间数

1. 问题重述

现代医疗服务目标的核心是最大限度地满足病人对疾病诊疗和保健的各种显性和隐性需求，为病人提供优质服务。然而国情及人口因素，导致我国医院排队现象异常复杂。医院就诊“常排队，排队长”是导致医患“双亏”局面的重要因素。由于医疗服务能力和病人求医需求不可能完全对称。比如多数医院受成本、设施、人员等客观条件的限制，不能轻易增加设备和人员，以适应和配合病人需求的变化；或者医疗需求较难预测，而医疗服务能力缺乏相应的弹性。因此病人在医疗服务中排队等待是客观存在的，不可避免。其中病床是医院收治病人的基本装备单位，也是医院工作规模的计量单位，是确定医院的人员编制、划拨卫生费、分配设备和物资、反映医疗工作量的重要依据。医院床位的合理安排能提高资源配置和工作效率。

因此，我们需要通过各种手段建立合理的床位安排模型，缩短病人的逗留时间和排队队长，最大限度地满足病人的需求和提高资源配置效率。

2. 问题分析

各种研究表明引起医院排队问题的最大因素是：医患双方信息不对称导致病人被动就医，从而耗费大量时间。从经济学角度看，每个病人都付出了成本（时间），得到了收益（诊治）。尽管每个人耗费时间的机会成本不同，但排队总体上还是应体现公平与效率的原则。在医疗活动中，主动权掌握在诊治的提供方。病人到达医院后，其就诊、入院、手术、出院的时间通常由医务人员决定。病人处于被动地位，长时间处于排队等待状态。我们构造相应的评价指标体系，并基于合理的病人输入过程、病人排队规则和服务台服务规则建立床位安排模型，以最大限度地满足病人需求，并提高工作效率。

排队论是研究排队系统（又称随机服务系统）的数学理论和方法。一个排队系统主要由输入过程（包括顾客总体、顾客到来方式、顾客相继到达的间隔时间等）、排队规则（包括排队方式、排队数目等）和服务机构（包括服务台数目、服务时间等）三个部分组成。

排队模型中最主要的三个特征是相继顾客到达间隔时间的分布、服务时间的分布和服务台个数。按照此三个特征分类，可得排队模型的一般形式为 $X/Y/Z/A/B/C$ ，其中 X 表示相继到达间隔时间的分布； Y 表示服务时间的分布； Z 表示服务台数； A 表示系统的容量； B 表示顾客源数目； C 表示服务规则。

对于一个排队系统，其运行指标主要有队长、排队长、逗留时间、等待时间、忙期、损失率和服务强度等。

问题一中，该眼科医院目前对全体非急诊病人按照 FCFS(First come, First serve)的原则安排住院，对急诊病人是一旦有空床位就安排住院。然而，等待入院的病人队列却越来越长。FCFS 的弊端：白内障患者只在周一和周三动手术，而手术只需准备 1-2 天，因此如果让白内障患者（包括单眼和双眼）在周三至周五入院或白内障患者（双眼）不在周六至周日入院的话，会造成床位的浪费，从而降低了整个服务系统的效率。

我们需要确定医疗管理的统计指标，构建合理的指标体系以评价该医院床位安排模型的工作效率。1988 年 Yager 提出了 OWA 算子，并且将它应用到数据集

成、决策分析、人工智能等领域，取得了相当好的效果。考虑到事物的模糊性，文献提出了连续区间有序加权几何平均算子。本文考虑用区间模糊数来表示相关的评价指标，并用连续区间有序加权几何平均算子来进行综合集成。

问题二是要基于模糊线性规划建立新的病床安排模型，达到能根据第二天拟出院病人数来确定第二天如何安排病人入院的目的，并用问题一中构造的指标体系加以评价。

问题三可以根据问题二中建立的模型，在病人就诊时就能预知其大致入住区间，与问题二中区别在于这一部分病人不存在已等待时间，本文拟建立关于相关指标的信息系统。

问题四给出更强的约束条件，即在周六、周日不安排手术任务，将对手术时间安排产生影响，我们对不同情况进行了比较，并对相关安排做了调整。

问题五中为便于管理，将以各类病人占用病床的比例大致固定为基础，以所有病人在系统内的平均逗留时间为目标，建立最优病床比例分配模型。

3. 模型假设：

- (1) 床位周转间隔为 0。即假设按每张床计算，从一个病人出院到下个病人入院的间隔时间忽略不计。不考虑病床工作负荷过重，床位使用率过高，周转速度过快对病房使用造成的影响。
- (2) 从门诊到安排入院期间，没有病人流失。在该医院门诊就诊的病人将全部进入待入院状态。
- (3) 病人的到达率与该医疗服务系统的状态无关。
- (4) 在一个充分小的时间间隔里不可能有两个或两个以上的病人到达，只能有一个病人到达。
- (5) 该医院眼科手术条件比较充分，在考虑病床安排时可不考虑手术条件的限制。
- (6) 青光眼和视网膜疾病由于急症数量较少，因此不考虑急症。

4. 符号说明

a	病床等待指数
\tilde{x}_1	等待入院平均时间
\tilde{x}_2	手术前平均占用病床时间
\tilde{x}_3	平均住院日
b	医院效率指数
\tilde{y}_1	平均周转效率的最优区间
\tilde{y}_2	病床使用率

\tilde{y}_3	门诊收治待诊率
$a=[a^L, a^U]$	区间数
$ \tilde{a}-\tilde{b} $	区间数距离

5. 模型的建立与求解

5.1 基于连续区间有序加权几何平均（C-OWGA）算子的模糊综合评价模型

5.1.1 指标体系的构建

1. 病床等待指数 a

基于诊治过程中病人在该医疗服务系统中的逗留时间（等待时间与住院时间之和）越短越好的原则，我们构建病床等待指数 a ，考虑以下三个指标：等待入院平均时间，手术前平均占用病床时间，平均住院日，这三个指标均考虑为模糊区间数。

（1）等待入院平均时间 \tilde{x}_1

等待入院平均时间是病人入院时间与门诊时间的平均间隔，反映医院收治病人的速度快慢。等待入院平均时间越短，则病人能越快入院接受治疗，该床位安排模型越有效率。

（2）手术前平均占用病床时间 \tilde{x}_2

手术前平均占用病床时间是病人接受第一次手术的时间与入院时间的间隔，反映术前诊断、术前准备、手术室规模及管理状况。此项指标可分病种统计。手术前平均占用病床时间根据不同的病种有其理想值。一般来说，手术前平均占用病床日越短，该床位安排模型越有效率。

（3）平均住院日 \tilde{x}_3

对于平均住院日，可以用下式来说明：

$$\text{平均住院日} = \frac{\text{出院者占用病床总时间}}{\text{出院总人数}} \quad (5.1)$$

该指标是近年来甚为引人关注的一项指标。目前，缩短住院日的潜力是很大的，是开发病床资源的一种重要手段。通过对住院日的深入分析，查找影响住院

日各个环节的因素，在保证医疗质量的前提下，缩短平均住院日，不仅能节省床位投资，使现有的卫生资源得到充分有效地利用，使医院的技术优势得到充分发挥，为医院增加收益，而且对缓解看病难、住院难的矛盾起到重要作用，产生巨大的社会效益。

2. 医院效率指数 b

病床是医院收治病人的基本装备单位，也是医院工作规模的计量单位，是确定医院的人员编制、划拨卫生费、分配设备和物资、反映医疗工作量的重要依据。构建医院效率指数 b 反映病床的利用效率，包括平均周转效率，病床使用率，门诊收治待诊率。

(1) 平均周转效率的最优区间 \tilde{y}_1

$$\text{平均周转效率} = \frac{\text{病床平均周转次数}}{\text{最大病床周转次数}} \quad (5.2)$$

病床周转次数是衡量医院床位周转速度快慢的指标。

$$\text{病床周转次数} = \frac{\text{出院人数}}{\text{平均开房病床数}} \quad (5.3)$$

最大病床周转次数则由假设极端情况即全部收治外伤时的周转次数得出。病床使用率只能说明病床工作的一般负荷情况，还不能完全说明病床工作效率。分析病床工作效率时，应注意在一定时间内，周转次数多即周转速度快、病床利用情况好，病人平均住院天数少。病床周转次数的多少和收容病人的病种、病情轻重有密切关系。收容慢性病人、重症病人多的病区则病床周转较慢。一般三级医院该指标 ≥ 17 次/年。而可以用

$$y_1 = \frac{\text{病床平均周转次数}}{\text{最大病床周转次数}} \quad (5.4)$$

衡量病床的利用效率。 y_1 的值越接近于 1，则病床的利用效率越高。

(2) 病床使用率 \tilde{y}_2

$$\text{病床使用率} = \frac{\text{实际占用总床日数}}{\text{实际开放总床日数}} \times 100\% \quad (5.5)$$

病床使用率是反映一定时期内使用的病床与开放的病床之比情况，是反映病

床利用的指标，用相对数表示的。一般认为该指标以85 %—93 %为宜。使用率过低,说明病床有空闲,尚有潜力未能充分发挥;太高说明病床负担过重,不能有足够的时间用于对病床的消毒处置,容易增加医院感染,临时加床会影响病房管理,可能给医疗质量带来不利影响,应尽量避免。所以,认为使用率越高越好的观点是错误的。影响病床使用率的因素主要有:各科床位分配不合理,未及时调整;病床消毒、隔离的时间长;修理病床或报空床不及时,时间过长影响收容;受季节性因素的影响;受男、女病人病床的影响;受病种的制约等。

(3) 门诊收治待诊率 \tilde{y}_3

$$\text{门诊收治待诊率} = \frac{\text{当日待入院人数}}{\text{当日待入院人数} + \text{在院治疗人数}}$$

(5.6)

门诊收治待诊率越低,反映医院收治效率越高,病人在系统内的逗留时间将越短。

3. 评价指标体系:

根据国家卫生部相关统计规定，我们构造如下评价指数体系：

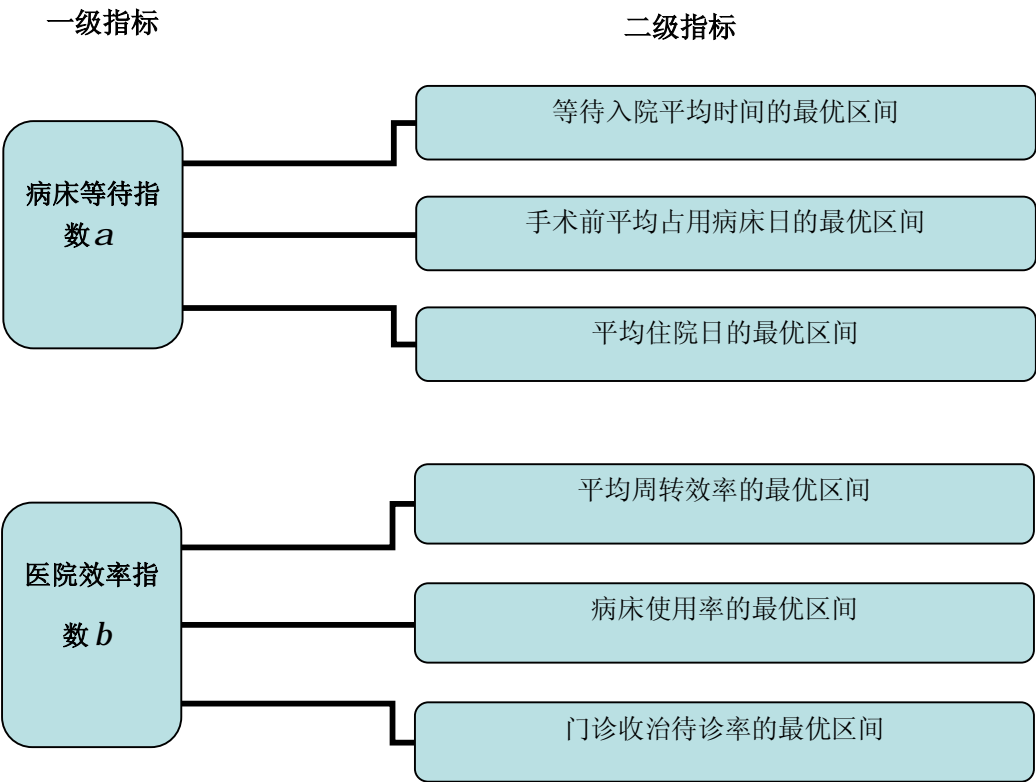


图 5.1

5.1.2 基于 $C-OWGA$ 算子的模糊综合评价模型

1. C-OWGA 算子

(1) 区间数及其运算性质

定义 5.1: 设 $a = [a^L, a^U] = \{x | a^L \leq x \leq a^U\}$, 称 a 为一个区间函数。特别的, 若 $a^L = a^U$, 则 a 退化为一个实数。

假设区间数 $a = [a^-, a^+]$, $b = [b^-, b^+]$ (实数可以看成是两端相同的退化区), 则区间数的运算及区间数序关系如下:

- (1) $a + b = [a^- + b^-, a^+ + b^+]$.
- (2) $ab = [a^-b^-, a^+b^+]$, 特别地 $la = [la^-, la^+]$, $l \in R^+$.
- (3) $a/b = [a^-/b^-, a^+/b^+]$, 特别地 $1/b = [1/b^-, 1/b^+]$.
- (4) $a \leq b \Leftrightarrow a^- \leq b^-, a^+ \leq b^+$.

定义 5.2: 当 a, b 同时为区间数或者有一个为区间数时, $a = [a^-, a^+]$, $b = [b^-, b^+]$, 且记 $L(a) = a^+ - a^-$, $L(b) = b^+ - b^-$, 则称

$$p(a \geq b) = \max\{1 - \max(\frac{b^+ - a^-}{L(a) + L(b)}, 0), 0\} \quad (5.7)$$

为 $a \geq b$ 的可能度。在此定义下, $p(a \geq b)$ 具有下述性质:

- (1) 若 $p(a \geq b) = p(b \geq a)$, 则 $p(a \geq b) = p(b \geq a) = 1/2$.
- (2) (互补性) $p(a \geq b) + p(b \geq a) = 1$.
- (3) 若 $a^+ \leq b^-$, 则 $p(a \geq b) = 0$.
- (4) 若 $a^- \geq b^+$, 则 $p(a \geq b) = 1$.
- (5) 传递性) 对于三个区间数 a, b, c , 若 $a \geq b$, 则 $p(a \geq c) \geq p(b \geq c)$.

为了简便起见, 令 $N = \{1, 2, \dots, n\}$, $\Omega^+ = \{a | a = [a^L, a^U], a^U \geq a^L \geq 0\}$ 。

(2) 区间数判断矩阵与区间数互反判断矩阵

定义 5.3: 若矩阵 $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}$, $\tilde{a}_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^U]$, 则称 \tilde{A} 为区间数判断矩阵。

定义 5.4: 若区间数判断矩阵 $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}$ 满足 $a_{ij}^L \cdot a_{ji}^U = a_{ij}^U \cdot a_{ji}^L = 1$, $i, j \in N$.

$a_{ii}^U = a_{ii}^L = 1, i \in N$ ，则称 \tilde{A} 为区间数互反判断矩阵。

(3) $C-OWGA$ 算子

定义 5.5: 设 $f: R^{+n} \rightarrow R^{+}$, 若

$$f(a_1, a_2, \dots, a_n) = \prod_{j=1}^n b_j^{w_j} \quad (5.8)$$

则称 f 为 n 维有序加权几何平均 ($OWGA$) 算子，其中 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 是与 f

相关联的指数加权向量， $w_j \in [0, 1]$ ， $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。 b_j 是一组数据 a_i ($i \in N$) 中第 j 大

的元素。

定义 5.6: 设 $g: \Omega^{+} \rightarrow R^{+}$ ，若

$$g_Q(\tilde{a}) = g_Q([a^L, a^U]) = a^U \cdot \left(\frac{a^L}{a^U} \right)^{\int_0^1 (dQ(y)/dy) y dy} \quad (5.9)$$

则称 g 为连续区间有序加权几何平均 ($C-OWGA$) 算子，其中 Q 称为基本单调

区间函数 (BUM)，且满足：(1) $Q(0) = 0, Q(1) = 1$ (2) 若 $x > y$ ，则 $Q(x) \geq Q(y)$ 。

$C-OWGA$ 算子具有以下性质：

定理 5.1: 若 $a^L \geq b^L$ ，且 $a^U \geq b^U$ ，则对任意的 Q ，有 $g_Q(\tilde{a}) \geq g_Q(\tilde{b})$ 。

定理 5.2: 设 $\tilde{a} = [a^L, a^U] \in \Omega^{+}$ ，若 $Q_1(y) \geq Q_2(y)$ ，则 $g_{Q_1}(\tilde{a}) \geq g_{Q_2}(\tilde{a})$ 。

定理 5.3: 设 $\tilde{a} = [a^L, a^U] \in \Omega^{+}$ ，则 $a^L \leq g_Q(\tilde{a}) \leq a^U$ 。

定理 5.4: 设 $\tilde{a} = [a^L, a^U] \in \Omega^{+}$ ，若 $I = \int_0^1 Q(y) dy$ 为态度参数，则 $g_Q(\tilde{a}) = (a^L)^{1-I} (a^U)^I$ 。

定义 5.7: 设 $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})$ 为区间数互反判断矩阵，若

$$g_Q(\tilde{a}_{ij}) = g_Q([a_{ij}^L, a_{ij}^U]) = a_{ij}^U \cdot \left(\frac{a_{ij}^L}{a_{ij}^U} \right)^{\int_0^1 (dQ(y)/dy) y dy}, \quad g_Q(\tilde{a}_{ji}) = \frac{1}{g_Q(\tilde{a}_{ij})}, i, j \in N \quad (5.10)$$

则称 $g_Q(\tilde{A}) = (g_Q(\tilde{a}_{ij}))_{n \times n}$ 为偏好度 \tilde{a}_{ij} 的期望值。

显然由上式有

$$g_Q(\tilde{a}_{ij}) > 0, g_Q(\tilde{a}_{ij}) \cdot g_Q(\tilde{a}_{ji}), g_Q(\tilde{a}_{ii}) = 1, i, j \in N$$

且若 $I = \int_0^1 Q(y)dy$ 为态度参数，则

$$g_Q(\tilde{a}_{ij}) = g_Q([a_{ij}^L, a_{ij}^U]) = a_{ij}^L \cdot \left(\frac{a_{ij}^U}{a_{ij}^L}\right)^I$$

$$g_Q(\tilde{a}_{ji}) = \frac{1}{a_{ij}^L} \cdot \left(\frac{a_{ij}^U}{a_{ij}^L}\right)^I, i \leq j$$

2 基于 $C-OWGA$ 算子的模糊综合评价模型

基于 $C-OWGA$ 算子的区间数决策方法如下 (Model 1):

step1: 设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为有限的决策指标集。决策者给出的决策矩阵为区间数

互反判断矩阵。 $\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n}$, $\tilde{a}_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^U]$, $\tilde{a}_{ji} = [a_{ji}^L, a_{ji}^U]$, $a_{ij}^L \cdot a_{ji}^U = a_{ij}^U \cdot a_{ji}^L = 1$,

$a_{ij}^U \geq a_{ji}^L > 0, a_{ii}^U = a_{ii}^L = 1, i, j \in N$.

step2: 根据 $C-OWGA$ 算子，得到 $g_Q(\tilde{A}) = (g_Q(\tilde{a}_{ij}))_{n \times n}$ ，这里 $g_Q(\tilde{a}_{ij}) = a_{ij}^L \cdot \left(\frac{a_{ij}^U}{a_{ij}^L}\right)^I$,

$g_Q(\tilde{a}_{ji}) = \frac{1}{a_{ij}^L} \cdot \left(\frac{a_{ij}^L}{a_{ij}^U}\right)^I, i \leq j$, I 为 BUM 函数， $I = \int_0^1 Q(y)dy$ 为态度参数。

Step3: 由式

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n g_Q(\tilde{a}_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_Q(\tilde{a}_{ij})}, i \in N \quad (5.11)$$

计算第 i 个指标的相对重要性权重。

Step4: 利用 $w_i (i \in N)$ 对相关指标值进行集成。

5.1.3 模型的仿真分析

1. 算法步骤:

Step1: 根据 $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3$ 和 $\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}_3$ 构造区间数互反判断矩阵如下:

$$\tilde{A}_1 = \begin{pmatrix} [1,1] & [3,4] & [2,3] \\ [\frac{1}{4}, \frac{1}{3}] & [1,1] & [\frac{1}{2}, 1] \\ [\frac{1}{3}, \frac{1}{2}] & [2,3] & [\frac{1}{3}, \frac{1}{2}] \end{pmatrix}, \quad \tilde{A}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & [1,3] \\ 1 & 1 & [1,3] \\ [1/3,1] & [1/3,1] & 1 \end{pmatrix}$$

Step2: 根据 $C-OWGA$ 算子, 得到 $g_Q(\tilde{A}_i) = (g_Q(\tilde{a}_{ij}))_{n \times n}$:

$$g_Q(\tilde{A}_1) = \begin{pmatrix} 1 & 3.3019 & 2.2894 \\ 0.2752 & 1 & 0.6300 \\ 0.3816 & 1.2599 & 1 \end{pmatrix}, \quad g_Q(\tilde{A}_2) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1.4422 \\ 1 & 1 & 1.4422 \\ 0.4807 & 0.4807 & 1 \end{pmatrix}$$

Step3: 由式 (5.11) 计算得到关于 $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3$ 和 $\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}_3$ 的相对重要性权重如下:

$$W_1 = (0.5918 \quad 0.1711 \quad 0.2371), \quad W_2 = (0.3956 \quad 0.3960 \quad 0.2088)$$

Step4: 可利用 W_1, W_2 对相关指标值进行集成。

2. 眼科医院病床安排模型的评价

(1) 由卫生部相关标准得出 a , b 的标准区间

根据国家卫生部《综合医院分级管理标准(试行草案)》, 各单个指标均存在最优可行区间: 等待入院平均时间 \tilde{x}_1 为 11; 手术前平均占用病床日 \tilde{x}_2 为 2; 平均

住院日 \tilde{x}_3 为 $[9, 18]$; 平均周转效率 \tilde{y}_1 为 $\left[\frac{20}{48.5}, \frac{48.5}{48.5}\right] = [0.4124, 1]$; 病床使用率 \tilde{y}_2

为 $[0.85, 0.9]$; 门诊收治待诊率 \tilde{y}_3 为 $[0, 0.05]$ 。

根据 Model 1 可以得到相关综合指数:

表 5.1 病床等待指数标准

\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	a
[8.7924, 8.7924]	[1.4396, 2.3188]	[7.6188, 8.4981]	[7.2561, 7.6150]

表 5.2 医院效率指数标准

\tilde{y}_1	\tilde{y}_2	\tilde{y}_3	b
[0.4124, 1]	[0.85, 0.9]	[0, 0.05]	[0.4994, 0.7620]

2. 眼科医院的病床安排模型的评价

根据 $C-OWGA$ 算子的模糊综合评价模型计算出该院的 x_1, x_2, x_3 以及 y_1, y_2, y_3 的病床等待指数和医院效率指数:

表 5.3 病床等待指数

\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	a
6.5098	0.3422	2.1339	8.9859

表 5.4 医院效率指数

\tilde{y}_1	\tilde{y}_2	\tilde{y}_3	b
0.7687	1.0000	0.8774	0.8829

为了衡量该医院病床等待指数及医院效率指数与参考标准之间的差距,我们定义如下区间数距离:

定义 5.8: 设 $\tilde{a}=[a^L, a^U]$, $\tilde{b}=[b^L, b^U]$ 为区间数, 则称

$$|\tilde{a}-\tilde{b}|=\frac{1}{2}(|a^L-b^L|+|a^U-b^U|)$$

为区间数 \tilde{a} 与 \tilde{b} 的距离。

根据国家相关标准, 由定义 5.8 可以得到该医院的病床等待指数距离为 1.5504, 医院效率指数距离为 0.2522。由于该医院的病床等待指数距离超过 1.5, 医院效率指数超过 0.15, 即两个指数的距离均远远大于 0, 故可以认为该医院的病床安排极其不合理。

5.2 基于模糊线性规划的病床安排模型

5.2.1 基于模糊线性规划的病床安排模型

1. 基于模糊线性规划的病床安排模型

因为该医院的眼科手术主要分为四大类: 白内障、视网膜疾病、青光眼和外伤, 又因为白内障有两类, 即单眼白内障和双眼白内障, 为了方便处理, 可将该医院的眼科手术具体分为五大类如下表所示:

表 5.5

i	1	2	3	4	5
-----	---	---	---	---	---

疾病种类	白内障单眼	白内障双眼	视网膜疾病	青光眼	外伤
------	-------	-------	-------	-----	----

因为患各种不同疾病的患者在整个治疗系统的不同等待阶段的等待时间有差异，所以可以将整个治疗系统分成如下阶段：

表 5.6

j	1	2	3	4
阶段	门诊 → 入院	入院 → 手术 1	手术 1 → 手术 2	手术 2 → 出院

为了简便起见，令 $M = \{i | i = 1, 2, 3, 4, 5\}$ ， $J = \{j | j = 1, 2, 3, 4\}$ 。考虑在不同的阶段不同病种的状态情况不同，我们构造以下 0—1 变量：

$$x_{ijkt} = \begin{cases} 1, \text{第} t \text{天处于第} j \text{阶段患第} i \text{种疾病的第} k \text{个病人等待} \\ 0, \text{否则} \end{cases}$$

这里 $i \in M, j \in J, k \in K, t \in T$ ， $K = \{k | k = 1, 2, \dots, k_{ij}\}$ ， k_{ij} 为第 j 个阶段第 i 种病人的最大数量， $T = \{t | t = 1, 2, \dots, T_0\}$ ， T_0 为时间上限。同时，令

$$y_{ijkt} = \begin{cases} 1, \text{第} t \text{天处于第} j \text{个阶段的患第} i \text{种疾病的患者进入下一阶段} \\ 0, \text{否则} \end{cases}$$

这里 $i \in M, j \in J, k \in K, t \in T$ 。令 T_{ijk} 表示患第 i 种疾病的第 k 个患者在第 j 个阶段的等待时间（ $i \in M, j \in J, k \in K$ ），为区间模糊数。下面建立基于模糊线性规划的病床安排模型。

（1）目标函数的建立

在病床的合理安排过程中，最重要的因素是等待时间。一方面，患者希望每一个阶段的等待时间越短越好，因为这样有利于疾病的治疗。另一方面，医院也希望每一个阶段的等待时间越短越好，因为这样有利于节省资源，帮助更多的患者治疗疾病，并且使等待的队列长较小，能够扩大影响，有利于达到医院的有效资源达到更加合理地配置。鉴于此，我们考虑以总的等待时间为目标，即

$$Z = \sum_i \sum_j \sum_k T_{ijk}$$

（2）约束条件的建立

根据问题的相关要求，我们提取相关信息，得到下述约束条件。

（a）系统各个阶段流量平衡条件，即当日新进某阶段的人数与前一日在前一阶

段等待人数之和等于当日进入该阶段的人数与当日进入下一阶段人数之和：

$$\sum_i \sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_i \sum_k y_{i,j-1,k,t} = \sum_i \sum_k x_{ijk,t} + \sum_i \sum_k y_{ijk,t}, \quad t \in T, j = 2, 3, 4$$

(b) 病床约束：出院人数不少于入院人数与新进系统的外伤患者人数之和：

$$\sum_i \sum_k y_{i4kt} \geq \sum_{i \neq 5} \sum_k y_{i1kt} + \sum_k x_{51kt}, \quad t \in T$$

(c) 医生数量约束：每天做手术的医生数量约束：

$$\sum_i \sum_{j=2}^3 \sum_k y_{ijk,t} \leq l_0 x_0, \quad t \in T$$

其中 l_0 为每位医生平均每日所做手术数目， x_0 为该眼科医院的医生数量。

(d) 白内障手术准备时间约束：

$$P(T_1 \leq T_{i2k} \leq T_2) = 1$$

其中 T_1, T_2 分别为下限和上限。

(e) 白内障（双眼）入院时间约束：

$$P(T_3 \leq T_{21k} \leq T_4) = 1$$

其中 T_3, T_4 分别为下限和上限。

(f) 白内障（双眼）与白内障（单眼）人数比例约束：

$$\sum_k y_{22kt} = k_0 \sum_k y_{12kt}$$

其中 k_0 为比例系数。

(g) 白内障（单眼）手术时间约束：只能是周一或者周三：

$$x_{1jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \text{ 或 } t = 7m - 4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

其中 $m = 1, 2, \dots$ 为星期数量。

(h) 白内障（双眼）手术时间约束：只能是周一：

$$x_{2jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

其中 $m = 1, 2, \dots$ 为星期数量。

(i) 外伤入院时间约束：

$$P(T_5 \leq T_{51k} \leq T_6) = 1$$

其中 T_5, T_6 分别为下限和上限。

(j) 外伤手术时间约束:

$$P(T_7 \leq T_{52k} \leq T_8) = 1$$

其中 T_7, T_8 分别为下限和上限。

(k) 青光眼和视网膜疾病手术不安排在周一、周三:

$$x_{i2kt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \text{ 或 } t = 7m - 4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

其中 $i = 3, 4; m = 1, 2, \dots$ 为星期数量。

(l) 青光眼和视网膜疾病手术前等待时间约束:

$$P(T_9 \leq T_{i2kt} \leq T_{10}) = 1, \quad i = 3, 4$$

其中 T_9, T_{10} 分别为下限和上限。

(m) 青光眼和视网膜疾病术后观察期约束:

$$P(T_{11} \leq T_{i4kt} \leq T_{12}) = 1$$

其中 T_{11}, T_{12} 分别为下限和上限。

(n) 白内障手术与其他眼科手术不安排在同一天:

$$y_{i2kt} = \begin{cases} 0, y_{12kt}=1 \text{ 或 } y_{13kt}=1 \\ 1, \text{其他} \end{cases} \quad (i = 3, 4, 5)$$

这样, 得到如下模糊线性规划模型:

Model 2:

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_i \sum_j \sum_k T_{ijk} \\ s.t. \quad & \sum_i \sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_i \sum_k y_{i,j-1,k,t} = \sum_i \sum_k x_{ijkt} + \sum_i \sum_k y_{ijkt}, \quad t \in T, j = 2, 3, 4 \\ & \sum_i \sum_k y_{i4kt} \geq \sum_{i \neq 5} \sum_k y_{i1kt} + \sum_k x_{51kt}, \quad t \in T \\ & \sum_i \sum_{j=2}^3 \sum_k y_{ijkt} \leq I_0 x_0, \quad t \in T \end{aligned}$$

$$P(T_1 \leq T_{i2k} \leq T_2) = 1, P(T_3 \leq T_{21k} \leq T_4) = 1, P(T_5 \leq T_{51k} \leq T_6) = 1$$

$$P(T_7 \leq T_{52k} \leq T_8) = 1, P(T_9 \leq T_{i2kt} \leq T_{10}) = 1, \quad i = 3, 4$$

$$\sum_k y_{22kt} = k_0 \sum_k y_{12kt}, P(T_{11} \leq T_{i4kt} \leq T_{12}) = 1$$

$$x_{1jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \text{ 或 } t = 7m - 4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, x_{2jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

$$x_{i2kt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \text{ 或 } t = 7m - 4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, y_{i2kt} = \begin{cases} 0, y_{12kt=1} \text{ 或 } y_{13kt} = 1 \\ 1, \text{其他} \end{cases} \quad i = 3, 4, 5$$

(3) 模型的求解

根据问题附近中给出的数据，利用矩估计的方法，并经过皮尔逊检验，得到到来人数服从参数为 $\lambda = 7.48$ 的 poisson 流，代入 Model 2 得到附表 1。由附表 1，可以看出系统的流入、流出情况以及对手术时间的特殊要求等约束条件均能够满足。

(4) 模型的综合评价

为了验证 Model 2 的有效性，可以利用 Model 1 来进行评价。由 Model 1 可以得到附表 1 的病床安排相关指数：

表 5.7 病床等待指数

\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	a
7	16	3	7.5915

表 5.8 医院效率指数

\tilde{y}_1	\tilde{y}_2	\tilde{y}_3	b
0.7835	0.95	0.3454	0.7579

可以看出，病床等待指数和医院效率指数均在参考范围内，说明本文提出的基于模糊线性规划的病床安排模型效果比较好。此外，得到综合指数与参考标准的距离分别为 0.17945 和 0.1313，相对于该眼科医院以前的安排来说，其等待效率和服务效率分别提高了 88.43% 和 47.94%。

5.2.2 基于 UOWA 算子在病人排序模型

下面考虑根据第二天拟出院的病人数来确定第二天应该安排哪些病人住院的问题。根据 Model 2 可以得到第二天拟出院的病人数为 $\sum_i \sum_k y_{i4k,t+1} \triangleq y_0$ ，这样，有必要安排至多 y_0 个病人入院，但是入院并不能按照 FCFS 的规则，从公平性和合理性方面考虑，我们采用已经等待的时间、预期治疗时间、手术时间的要求、病情的严重性四个方面来进行综合评判，提出基于不确定型有序加权平均 (UOWA) 算子的多属性评价模型。

1. 安排准则

(1) 已等待时间。按照同种疾病（外伤急症除外）患者群中，已等待时间越长越优先入院的原则。

(2) 预期住院时间。按照预期住院时间越短越优先入院的原则，提高系统的整体效率。

(3) 手术时间要求。如白内障（双眼）安排在周六或周日；白内障（单眼）安排在周六，周日，周一或周二；其他手术（外伤急症出除外）不与白内障手术安排在同一天的原则。

(4) 疾病严重程度。通过对本市一个二级眼科医院的调查得四大类眼科疾病的优先级如下：

青光眼 \succ 视网膜疾病 \succ 白内障(双眼) \succ 白内障(单眼)

2. UOWA 算子及其性质

定义 5.9: 设 $F: \Omega^{+n} \rightarrow \Omega^{+}$ ，若

$$F(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (5.12)$$

其中 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 是与 UOWA 相关联的加权向量， $w_i \in [0, 1], j \in N, \tilde{a}_i \in \Omega^{+}$,

且是一组数据 $(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n)$ 中第 j 大的元素，则称函数 F 是不确定 OWA 算子（简记 UOWA 算子）。而对于 UOWA 算子的权重，我们可以引入模糊语义量化算子：

$$w_k = f\left(\frac{k}{n}\right) - f\left(\frac{k-1}{n}\right), k \in N \quad (5.13)$$

这里， f 为模糊语义量化算子

$$f(r) = \begin{cases} 0, & r < a \\ \frac{r-a}{b-a}, & a \leq r \leq b \\ 1, & r > b \end{cases} \quad (5.14)$$

其中 $a, b, r \in [0, 1]$ ，对应于模糊语义量化准则，“大多数”，“至少半数”，“尽可能多”的算子 f 中的参数对分别为 $(a, b) = (0.3, 0.8)$, $(a, b) = (0, 0.5)$, $(a, b) = (0.5, 1)$ 。

3. 基于UOWA算子的病人入院安排模型

下面我们引入一种在决策者对方案无偏好情形下的多属性决策方法。具体步骤如下：**Model 3:**

*step1:*对于多属性决策问题，决策矩阵及其相应的规范化矩阵分别为

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times m}, \tilde{a}_{ij} = [\tilde{a}_{ij}^L, \tilde{a}_{ij}^U]$$

和

$$\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{n \times m}, \tilde{r}_{ij} = [\tilde{r}_{ij}^L, \tilde{r}_{ij}^U]$$

*step2:*对方案 x_i 的各属性值 $\tilde{r}_{ij} (j \in M)$ 进行两两比较，并建立可能度矩阵 $P^{(i)}$ 的排序向量 $\mathbf{u}^{(i)} = (u_1^{(i)}, u_2^{(i)}, \dots, u_m^{(i)})$ ，并按其分量大小对方案 x_i 的各属性值按从大到小的次序进行排序，得到 $\tilde{b}_{i1}, \tilde{b}_{i2}, \dots, \tilde{b}_{im}$ 。

*step3:*利用UOWA算子对方案 x_i 的属性值进行集结，得到其综合属性值

$$\tilde{z}_i(w) = UOWA_w(\tilde{r}_{i1}, \tilde{r}_{i2}, \dots, \tilde{r}_{im}) = \sum_{j=1}^n w_j \tilde{b}_{ij}, i \in N$$

其中加权向量 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 可利用UOWA算子加权向量的方法来确定。

*step4:*利用各方案综合属性值之间的可能度 $p_{ij} = p(\tilde{z}_i(w) \geq \tilde{z}_j(w)), (i, j \in N)$ 并建立可能度矩阵 $P = (p_{ij})_{n \times n}$ ，这是一个互补判断矩阵。

*step5:*按式

$$u_i = \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} + \frac{n}{2} - 1 \right) \quad (5.15)$$

求得可能度矩阵 P 的排序向量 $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ ，并按其分量大小对方案进行排

序，即得到最优方案。

4. 模型的求解与分析

step1: 因为对于疾病排序来说，外伤具有绝对的优先权，故在这里不需考虑，我们通过调查本市一个二级眼科医院，得到以下决策矩阵：

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} [10,16] & [3,9] & [60,75] & [65,75] \\ [10,15] & [5,13] & [50,60] & [80,85] \\ [10,16] & [7,18] & [80,90] & [85,90] \\ [10,15] & [6,14] & [80,90] & [90,95] \end{bmatrix}$$

并将它规范化，得到规范化矩阵为

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} [0.3224, 0.8000] & [0.1081, 0.8250] & [0.6288, 0.4237] & [0.6557, 0.5211] \\ [0.3224, 0.7500] & [0.1802, 1.1917] & [0.7546, 0.5296] & [0.5328, 0.4598] \\ [0.3224, 0.8000] & [0.2523, 1.6501] & [0.4716, 0.3531] & [0.5014, 0.4342] \\ [0.3224, 0.7500] & [0.2162, 1.2834] & [0.4716, 0.3531] & [0.4736, 0.4114] \end{bmatrix}$$

Step2: 选择模糊语义量化准则“至少半数”，得到集结权重

$$w = (0.5, 0.5, 0, 0)^T$$

利用 *UOWA* 算子对方案 x_i 的属性值进行集结，得到其综合属性值

$$\begin{aligned} \tilde{z}_1(w) &= [0.3224, 0.8000], \tilde{z}_2(w) = [0.2343, 1.4668], \\ \tilde{z}_3(w) &= [0.6971, 0.4717], \tilde{z}_4(w) = [0.5943, 0.4905] \end{aligned}$$

step3: 对各种疾病的各属性值 $\tilde{z}_i(w)$ 进行两两比较，建立可能度矩阵为

$$P = \begin{pmatrix} 0.5000 & 0.3308 & 0.4080 & 0.5503 \\ 0.6692 & 0.5000 & 0.7643 & 0.7730 \\ 0.5920 & 0.2357 & 0.5000 & 0.3724 \\ 0.4497 & 0.2270 & 0.6276 & 0.5000 \end{pmatrix}$$

按式 (5.15) 可以得到排序向量：

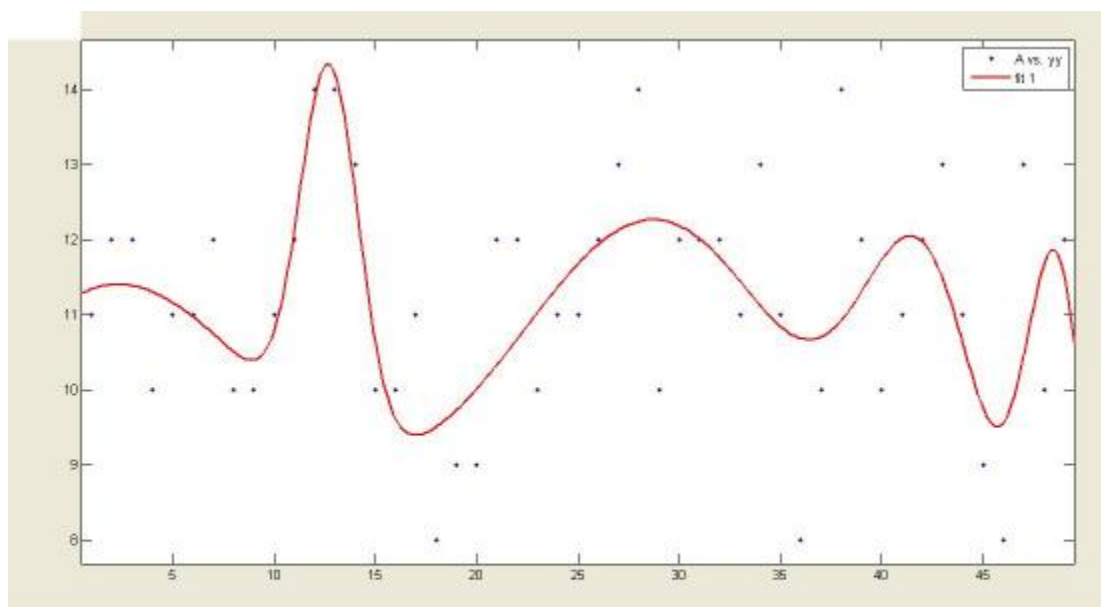
$$u = (0.2324, 0.3089, 0.2250, 0.2337)^T$$

我们可以根据该排序向量，对所有等待入院的病人进行规范化排序，按从大到小的顺序安排住院。

5.3 基于 *UOWA* 算子的入住时间预测模型

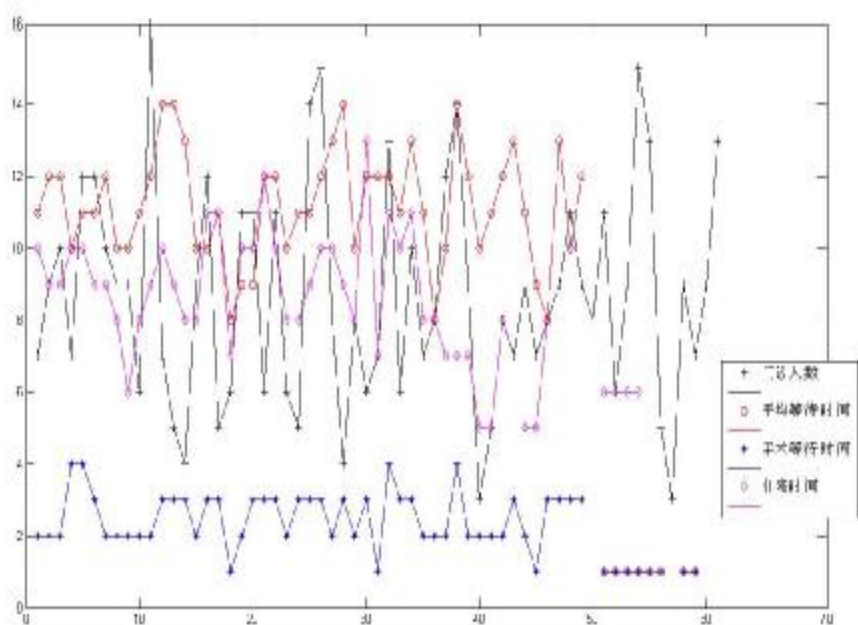
5.3.1 住院病人统计分析

图 5.1



由图可以看出，住院病人的数量成局部周期性变化。
5.3.2 等待住院的病人统计分析

图 5.2



由图可以看出等待住院的人数服从 Poisson 分布。
5.3.3 基于 UOWA 算子的入住时间预测模型
1.等待住院病人和预期出院人数分析

设某为病人到达门诊，医生确定他第 t 天入院，一方面，自他门诊当天到 t 天后出院的所有病人数应当能够提供让该位病人入住的床铺，而且自他门诊当天到 $t-1$ 后出院的所有病人数不能够提供让这位患者入院的床位。另一方面，若他在所有人的排队中排第 k_0 位，则自他门诊当日算起 t 天入院的人数之和应当超过 k_0 ，而且自他门诊当日算起 $t-1$ 天入院的人数之和不能超过 k_0 ，因而有如下约束条件：

$$\sum_{m=1}^t \sum_i \sum_k y_{i4km} \geq k_0 \geq \sum_{m=1}^{t-1} \sum_i \sum_k y_{i4km}$$

$$\sum_{m=1}^t \sum_i \sum_k y_{i1km} \geq k_0 \geq \sum_{m=1}^{t-1} \sum_i \sum_k y_{i1km}$$

2.基于 UOWA 算子的入住时间预测模型

为了得到 k_0 ，我们必须将该位患者与前面所有等待入院的病人进行排序，故在 Model 3 基础上我们有

Model 4:

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_i \sum_j \sum_k T_{ijk} \\ s.t. \quad & \sum_i \sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_i \sum_k y_{i,j-1,k,t} = \sum_i \sum_k x_{ijkt} + \sum_i \sum_k y_{ijkt}, \quad t \in T, j = 2, 3, 4 \\ & \sum_i \sum_k y_{i4kt} \geq \sum_{i \neq 5} \sum_k y_{i1kt} + \sum_k x_{51kt}, \quad t \in T \\ & \sum_i \sum_{j=2}^3 \sum_k y_{ijkt} \leq I_0 x_0, \quad t \in T \\ & \sum_{m=1}^t \sum_i \sum_k y_{i4km} \geq k_0 \geq \sum_{m=1}^{t-1} \sum_i \sum_k y_{i4km} \\ & \sum_{m=1}^t \sum_i \sum_k y_{i1km} \geq k_0 \geq \sum_{m=1}^{t-1} \sum_i \sum_k y_{i1km} \\ & P(T_1 \leq T_{i2k} \leq T_2) = 1, P(T_3 \leq T_{21k} \leq T_4) = 1, P(T_5 \leq T_{51k} \leq T_6) = 1 \\ & P(T_7 \leq T_{52k} \leq T_8) = 1, P(T_9 \leq T_{i2kt} \leq T_{10}) = 1, \quad i = 3, 4 \\ & \sum_k y_{22kt} = k_0 \sum_k y_{12kt}, P(T_{11} \leq T_{i4kt} \leq T_{12}) = 1 \\ & x_{1jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \text{ 或 } t = 7m - 4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, x_{2jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m - 6 \\ 0, \text{其他} \end{cases} \end{aligned}$$

$$x_{i2kt} = \begin{cases} 1, & t = 7m - 6 \text{ 或 } t = 7m - 4 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, y_{i2kt} = \begin{cases} 0, & y_{12kt=1} \text{ 或 } y_{13kt} = 1 \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad i = 3, 4, 5$$

3.模型求解

将问题中的数据代入 **Model 4**，且为了方面进行操作，我们构建了基于住院病人和等待住院病人情况的病人入住时间管理系统，如下图所示：

图 5.3

床位排队管理系统

病人情况

疾病严重程度

手术时间要求

预期治疗时间

估计入院时间

图 5.4

床位排队管理系统

病人情况

疾病严重程度 80

手术时间要求

预期治疗时间

估计入院时间

运行

图 5.5

床位排队管理系统

病人情况

疾病严重程度 80

手术时间要求 10

预期治疗时间 13

估计入院时间 5-7

运行

根据图 5.3-5.5，可以按照疾病的严重程度、手术的时间要求和预期治疗时间来确定估计入院的时间，而且操作简单，推广性强。

5.4 基于手术时间要求的模糊线性规划模型

如果该住院部考虑到医生的休假情况，安排周六、周日没有任何手术任务，即我们考虑的 Model 2 中关于时间的量只能取每星期的周一到周五，其它约束不变，这样得到如下模型：

Model 4:

$$\begin{aligned}
 \min Z &= \sum_i \sum_j \sum_k T_{ijk} \\
 s.t. \quad & \sum_i \sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_i \sum_k y_{i,j-1,k,t} = \sum_i \sum_k x_{ijkt} + \sum_i \sum_k y_{ijkt}, \quad t \neq 7m \text{ 或 } 7m-1, j=2,3,4 \\
 & \sum_i \sum_k y_{i4kt} \geq \sum_{i \neq 5} \sum_k y_{i1kt} + \sum_k x_{51kt}, \quad t \neq 7m \text{ 或 } 7m-1 \\
 & \sum_i \sum_{j=2}^3 \sum_k y_{ijkt} \leq I_0 x_0, \quad t \neq 7m \text{ 或 } 7m-1 \\
 & P(T_1 \leq T_{i2k} \leq T_2) = 1, P(T_3 \leq T_{21k} \leq T_4) = 1, P(T_5 \leq T_{51k} \leq T_6) = 1 \\
 & P(T_7 \leq T_{52k} \leq T_8) = 1, P(T_9 \leq T_{i2k} \leq T_{10}) = 1, \quad i=3,4 \\
 & \sum_k y_{22kt} = k_0 \sum_k y_{12kt}, \quad P(T_{11} \leq T_{i4k} \leq T_{12}) = 1 \\
 & x_{1jkt} = \begin{cases} 1, t=7m-6 \text{ 或 } t=7m-4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, \quad x_{2jkt} = \begin{cases} 1, t=7m-6 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, \\
 & x_{i2kt} = \begin{cases} 1, t=7m-6 \text{ 或 } t=7m-4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, \quad y_{i2kt} = \begin{cases} 0, y_{12kt}=1 \text{ 或 } y_{13kt}=1 \\ 1, \text{其他} \end{cases} \quad i=3,4,5 \\
 & t \neq 7m \text{ 或 } 7m-1
 \end{aligned}$$

将题中数据代入 Model 4 得到附表 2:

再利用 Model 1 来进行综合评价，得到综合指标值：

$$a = 9.736, \quad b = 0.889762$$

比医院原安排模型的效率分别下降了 75% 和 2.72%。由此可以看出，这种安排极其不合理。因此，有必要对相关条件进行修正。如果考虑住院部周六、周日仍不安排手术，则建议医院的手术时间做相应调整，即将相关手术的时间要求不做严格要求，则有如下模型：

Model 5:

$$\begin{aligned}
 \min Z &= \sum_i \sum_j \sum_k T_{ijk} \\
 s.t. \quad & \sum_i \sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_i \sum_k y_{i,j-1,k,t} = \sum_i \sum_k x_{ijk,t} + \sum_i \sum_k y_{ijk,t}, t \neq 7m \text{ 或 } 7m-1, j=2,3,4 \\
 & \sum_i \sum_k y_{i4kt} \geq \sum_{i \neq 5} \sum_k y_{i1kt} + \sum_k x_{51kt}, t \neq 7m \text{ 或 } 7m-1 \\
 & \sum_i \sum_{j=2}^3 \sum_k y_{ijk,t} \leq I_0 x_0, t \neq 7m \text{ 或 } 7m-1 \\
 & P(T_1 \leq T_{i2k} \leq T_2) = 1, P(T_3 \leq T_{21k} \leq T_4) = 1, P(T_5 \leq T_{51k} \leq T_6) = 1 \\
 & P(T_7 \leq T_{52k} \leq T_8) = 1, P(T_9 \leq T_{i2k} \leq T_{10}) = 1, i=3,4 \\
 & \sum_k y_{22kt} = k_0 \sum_k y_{12kt}, P(T_{11} \leq T_{i4k} \leq T_{12}) = 1
 \end{aligned}$$

进一步，将数据代入 Model 5 得到附表 3，利用 Model 1 重新计算综合评价指标值，得到 $a = 7.3403$ ， $b = 0.712693$ ，比医院原安排模型的效率分别高出 28% 和 13.13%

可以看出，这种安排比问题二中的 Model 2 的结果要有所欠缺，但是相对于 Model 4 的结果来说已经大为改观。

5.5 基于平均逗留时间最短的模糊最优病床比例分配模型

实际上，如果从管理的角度来考虑，那么在一般情况下，医院的病床安排可以采取使各类病人占用病床的比例大致固定的方案。为此，本节以各类病人占用病床的比例大致固定为基础，以所有病人在系统内的平均逗留时间为目标，建立模糊最优病床比例分配模型。

5.5.1 模型的建立

设 l_i 表示第 i 种疾病患者占用病床的比例，满足 $l_i \geq 0, \sum_{i=1}^5 l_i = 1$ 。

1. 目标函数的建立

一般地, 考虑第 i 种疾病患者, 在系统内一个周期的病人总数为 $\sum_j \sum_k \sum_t y_{ijk}$, 而总的等待时间为 $\sum_j \sum_k T_{ijk}$, 故有第 i 种疾病患者在系统内的平均逗留时间:

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_j \sum_k T_{ijk}}{\sum_j \sum_k \sum_t y_{ijk}}$$

从整个系统内部的结构来说, 总的平均逗留时间与各种疾病患者的平均逗留时间成正比, 且与患者的人数比重成正比, 故可建立如下目标函数:

$$W = \sum_{i=1}^5 l_i \bar{T}_i$$

2. 约束条件的修正

因为考虑到各种疾病患者的比例大致固定, 故 Model 2 中的条件 (a) 要作如下修改:

$$\sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_k y_{i,j-1,kt} = \sum_k x_{ijk,t} + \sum_k y_{ijk,t}, \quad i \in M, t \in T, j = 2, 3, 4$$

条件 (b) 可修改成如下形式:

$$\sum_k y_{i4kt} = \sum_k y_{i1kt}, i \neq 5, t \in T$$

因而得到基于平均逗留时间的模糊最优病床比例分配模型:

$$\begin{aligned} \min W &= \sum_{i=1}^5 l_i \bar{T}_i \\ s.t. \quad &\sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_k y_{i,j-1,kt} = \sum_k x_{ijk,t} + \sum_k y_{ijk,t}, \quad i \in M, t \in T, j = 2, 3, 4 \\ &\sum_k y_{i4kt} = \sum_k y_{i1kt}, i \neq 5, t \in T \\ &\sum_i \sum_{j=2}^3 \sum_k y_{ijk,t} \leq I_0 x_0, \quad t \in T \\ &P(T_1 \leq T_{i2k} \leq T_2) = 1, P(T_3 \leq T_{21k} \leq T_4) = 1, P(T_5 \leq T_{51k} \leq T_6) = 1 \\ &P(T_7 \leq T_{52k} \leq T_8) = 1, P(T_9 \leq T_{i2kt} \leq T_{10}) = 1, \quad i = 3, 4 \\ &\sum_k y_{22kt} = k_0 \sum_k y_{12kt}, P(T_{11} \leq T_{i4kt} \leq T_{12}) = 1 \end{aligned}$$

$$x_{1jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m-6 \text{ 或 } t = 7m-4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, x_{2jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m-6 \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

$$x_{i2kt} = \begin{cases} 1, t = 7m-6 \text{ 或 } t = 7m-4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, y_{i2kt} = \begin{cases} 0, y_{12kt}=1 \text{ 或 } y_{13kt}=1 \\ 1, \text{其他} \end{cases} \quad i = 3, 4, 5$$

5.5.2 模型的求解与说明

将经过 Model 2 修正之后的数据代入上述模型，得到最优的病床比例如下表：

表 5.3

l_i	区间模糊数
l_1	[0.1887,0.1895]
l_2	[0.25,0.2509]
l_3	[0.1191,0.1201]
l_4	[0.3197,0.3205]
l_5	[0.1102,0.1107]

5.5 基于平均逗留时间最短的模糊最优病床比例分配模型

实际上，如果从管理的角度来考虑，那么在一般情况下，医院的病床安排可以采取使各类病人占用病床的比例大致固定的方案。为此，本节以各类病人占用病床的比例大致固定为基础，以所有病人在系统内的平均逗留时间为目标，建立模糊最优病床比例分配模型。

5.5.1 模型的建立

设 l_i 表示第 i 种疾病患者占用病床的比例，满足 $l_i \geq 0, \sum_{i=1}^5 l_i = 1$ 。

2. 目标函数的建立

一般地，考虑第 i 种疾病患者，在系统内一个周期的病人总数为 $\sum_j \sum_k \sum_t y_{ijk}$ ，而总的等待时间为 $\sum_j \sum_k T_{ijk}$ ，故有第 i 种疾病患者在系统内的平均逗留时间：

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_j \sum_k T_{ijk}}{\sum_j \sum_k \sum_t y_{ijkt}}$$

从整个系统内部的结构来说,总的平均逗留时间与各种疾病患者的平均逗留时间成正比, 且与患者的人数比重成正比, 故可建立如下目标函数:

$$W = \sum_{i=1}^5 l_i \bar{T}_i$$

2. 约束条件的修正

因为考虑到各种疾病患者的比例大致固定, 故 Model 2 中的条件 (a) 要作如下修改:

$$\sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_k y_{i,j-1,kt} = \sum_k x_{ijkt} + \sum_k y_{ijkt}, \quad i \in M, t \in T, j = 2, 3, 4$$

条件 (b) 可修改成如下形式:

$$\sum_k y_{i4kt} = \sum_k y_{i1kt}, i \neq 5, t \in T$$

因而得到基于平均逗留时间的模糊最优病床比例分配模型:

$$\min W = \sum_{i=1}^5 l_i \bar{T}_i$$

$$s.t. \quad \sum_k x_{ijk,t-1} + \sum_k y_{i,j-1,kt} = \sum_k x_{ijkt} + \sum_k y_{ijkt}, \quad i \in M, t \in T, j = 2, 3, 4$$

$$\sum_k y_{i4kt} = \sum_k y_{i1kt}, i \neq 5, t \in T$$

$$\sum_i \sum_{j=2}^3 \sum_k y_{ijkt} \leq I_0 x_0, \quad t \in T$$

$$P(T_1 \leq T_{i2k} \leq T_2) = 1, P(T_3 \leq T_{21k} \leq T_4) = 1, P(T_5 \leq T_{51k} \leq T_6) = 1$$

$$P(T_7 \leq T_{52k} \leq T_8) = 1, P(T_9 \leq T_{i2kt} \leq T_{10}) = 1, \quad i = 3, 4$$

$$\sum_k y_{22kt} = k_0 \sum_k y_{12kt}, P(T_{11} \leq T_{i4kt} \leq T_{12}) = 1$$

$$x_{1jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m-6 \text{ 或 } t = 7m-4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, x_{2jkt} = \begin{cases} 1, t = 7m-6 \\ 0, \text{其他} \end{cases}$$

$$x_{i2kt} = \begin{cases} 1, t = 7m-6 \text{ 或 } t = 7m-4 \\ 0, \text{其他} \end{cases}, y_{i2kt} = \begin{cases} 0, y_{12kt}=1 \text{ 或 } y_{13kt}=1 \\ 1, \text{其他} \end{cases} \quad i = 3, 4, 5$$

5.5.2 模型的求解与说明

将经过 Model 2 修正之后的数据代入上述模型，得到最优的病床比例如下表：

表 5.3

l_i	区间模糊数
l_1	[0.1887,0.1895]
l_2	[0.25,0.2509]
l_3	[0.1191,0.1201]
l_4	[0.3197,0.3205]
l_5	[0.1102,0.1107]

6. 灵敏度分析及模型的讨论

6.1 灵敏度分析

1. 模型 1 中区间数互反判断矩阵的数值某一行数据的增大将会直接影响评价结果以及相关的等待效率和服务效率。
2. 模型 1 中 C-OWGA 相关的态度参数变大，会使整个集结值变大，反之亦然。
3. 模型 2 中约束条件中的时间参数与 Poisson 流的有关，其参数变大会使结果变小，其值变小会使结果变大。
4. 模型 3 中模糊语义量化算子的选择对权重影响较大，若选择模糊语义准则为“大多数”，则集结结果变小，若选择模糊语义准则为“尽可能多”，则集结结果变大。
5. Poisson 流中参数对模型 7 中分配比例的影响，我们考虑了参数相近的模拟值，相关比例分配情况如下表：

表 6.1

I	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5
7.4	[0.30,0.34]	[0.15,0.18]	[0.18,0.21]	[0.19,0.21]	[0.01,0.05]
7.45	[0.15,0.17]	[0.28,0.31]	[0.12,0.15]	[0.22,0.27]	[0.06,0.08]
7.5	[0.11,0.19]	[0.13,0.17]	[0.22,0.29]	[0.15,0.20]	[0.09,0.11]

6.2 模型的讨论

本文根据某眼科医院的病床安排情况，建立基于不确定规划和不确定 OWA

算子的病床合理安排模型。

首先，我们对该眼科医院的病床安排情况进行分析，提取六个基本指标，综合成病床等待指数和服务质量指数，构建了两级的评价指标体系。

模型 1 提出了基于连续区间有序加权平均（C-OWGA）算子的模糊综合评价模型，同时提出了区间数的距离的概念和两个评价参考标准。相对较合理。

模型 2 建立了基于模糊线性规划的病床安排模型，并对重新安排的病床情况利用模型 1 进行综合评价，检验效果较好，但是工作量较大。

模型 3 建立了基于不确定 OWA 算子的等待入院病人模糊综合评价模型，根据仿真分析得到等待入院的病人相关指标集结权重，从而可以根据第二天拟出院的人数来安排哪些病人入院。该模型理论基础较成熟，并且效果较好，计算简单。

模型 4 建立基于住院病人及等待住院病人的病人入住时间确定模型，并建立了病人入住时间的可视化图形操作系统。操作简单，推广性强。

模型 5 基于周六、周日不安排手术对模型 2 进行了修改，并对病床进行了安排，用模型 1 进行评价，相对于该眼科医院以前的安排来说，该模型的运算效果很差；模型 6 对手术时间的安排做出了调整，并对病床重新进行安排，对原来模型产生的不良后果稍有改善。

模型 7 建立了基于平均逗留时间最短的模糊最优病床比例分配模型，并通过仿真分析得到不同疾病的床位分配比例。该模型虽然效果很好，但是程序比较复杂。

7. 模型的评价、改进与推广

7.1 模型的评价

7.1.1 模型的优点

(1) 建立的模型能与实际紧密联系，结合实际情况对所提出的问题进行求解，使模型更贴近实际，通用性、推广性较强。

(2) 基于 C-OWGA 算子的模糊综合评价模型算法新颖，且计算简便；基于模糊线性规划的病床安排模型考虑相对全面，仿真结果合理性较强；基于 UOWA 算子和可能度的模糊综合评价模型比较精准，得到的因素权重可信度比较高。

(3) Model 4 的可视化界面形象逼真，操作简便，便于推广。

(4) 七个模型通过对实验数据的分析不仅使问题得到了一定程度上的解决，而且还能迅速掌握了实验数据的特点，为建立更合理的模型提供了参考经验。

7.1.2 模型的缺点

(1) 基于 IOWA 的预测模型运算过程比较麻烦，数据多，运算过程庞大，编程以及程序运行耗时比较多。

(2) 基于模糊多目标的学费标准模型中的参数确定的模糊性决定了其推广的相对难度，需要经过更加专业的处理。

(3) 学费标准制定过程中的随机性因素较多，使得模型不能将其准确地反应出来。

(4) 模型复杂因素较多，不能对其进行全面的考虑，造成与实际有一定的不相符之处。

7.2 模型的改进

7.2.1 对评价指标的改进

Model 1 考虑了两个一级指标共六个二级指标构成的评价指标体系，来评价病床的合理安排。这主要是从处理上来考虑的，可以尝试采用更多更有效的指标来评价模型，从而让模型达到更加优化的目的。

7.2.2 对方法种类的改进

在对模型进行综合评价的时候，我们采用了基于 C-OWGA 算子和基于 UOWA 算子的模糊综合评价方法，鉴于该种算子可能在某些方面的不确定性，在一定程度上限制了最后评价结果的精度，可以考虑和其他的评价方法结合起来，例如用基于偏差最小的各种准则来建立综合评价模型，在最优化原理的基础上对相关问题进行处理，从而提高评价的有效性。

7.2.3 对模糊数的处理方法上

模型中出现的模糊数均是以区间数的形式给出的，其处理方法仍然目前决策领域研究的热点问题，当然也可以考虑用更加精准的方法降低这种模糊数的不确定性。

这些都将是下一步讨论的主要内容。

7.3 模型的推广

本文构建了基于 C-OWGA 算子的病床合理安排模糊综合评价模型，解决了排队模型的评价问题，采用模糊数的形式表示相关变量，具有一定的合理性，可以用于各种不确定性评价问题。本文提出的基于模糊线性规划的病床合理安排模型具有良好的应用前景，可以和排队论的基本模型相结合，得出更加优化的结果。本文提出的基于 UOWA 算子的模糊综合评价模型，解决了入院病人的综合排序

问题,可以用于其它不确定性多属性决策问题中。本文建立的病床最优分配比例模型可以用于其它的比例分配问题,而且简便易行,效果显著。

参考文献:

- [1] 陈华友, 运筹学, 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008。
- [2] 陈华友, 组合预测方法有效性理论及其应用, 北京: 科学出版社, 2008。
- [3] 唐应辉, 唐小我, 排队论基础与应用, 成都: 电子科技大学, 2000。
- [4] 袁洪艳, 基于排队论的医院全流程排队管理系统的研究, 浙江大学硕士学位论文, 编号 R318, 2008 年 6 月。
- [5] 胡运全, 郭耀辉, 运筹学教程 (第二版), 北京: 清华大学出版社, 2003。
- [6] 徐洁, 试论病床使用率和病床周转次数的关系, 中国病案, 8 (2), 19-20, 2007。
- [7] 金国威, 陈力, 王信安, 张乃琨, 关于病床工作效率指标的探讨, 中国城乡企业卫生, 2000 (5), 4-5, 2000。
- [8] 徐泽水, 不确定多属性决策方法及应用, 北京: 清华大学出版社, 2004。
- [9] 徐泽水, 吴应宇, 达庆利, 一种改进的行和归一化排序方法, 东南大学学报 (自然科学版), 34 (4), 518-522, 2004。
- [10] 徐泽水, 几类多属性决策方法研究, 东南大学博士学位论文, 编号 568112, 2002 年 12 月。
- [11] 徐渝, 陶谦坎, 病员住院排队模型的研究及其应用, 西安交通大学学报, 23 (6), 64-70, 1989。
- [12] 彭迎春, 董斯彬, 常文虎, 运用排队论模型测量医院门诊流程效率, 中华医院管理杂志, 21(12), 806-809, 2005
- [13] 肖涛, 黄冬梅, 基于区间数的模糊综合评判, 维普资讯 <http://www.cqvip.com>, 2009 年 9 月 11 日
- [14] Carolina Osorio, Michel Bierlaire, An analytical finite capacity queuing network model capturing the propagation of congestion and blocking, European Journal of Operational Research, 196 (2009) 996-1007.
- [15] Cahit Perkgoz , Amir Azaron , Hideki Katagiri , Kosuke Kato , Masatoshi Sakawa , A multi-objective lead time control problem in multi-stage assembly systems using genetic algorithms, European Journal of Operational Research 180 (2007) 292-308.
- [16] Spencer S. Jones a,*, R. Scott Evans a,b, Todd L. Allen c, Alun Thomas a, Peter J. Haug a,b, Shari J. Welch c, Gregory L. Snow b, A multivariate time series approach to modeling and forecasting demand in the emergency department , Journal of Biomedical Informatics 42 (2009) 123-139.
- [17] Sophie D. Lapierre a, *, David Goldsman b, Roger Cochran c, Janice DuBowd, Bed allocation techniques based on census data, Socio-Economic Planning Sciences 33 (1999) 25-38
- [18] 姜艳萍, 樊治平, 基于判断矩阵的决策理论与方法, 北京: 科学出版社, 2008。
- [19] 姜启源, 谢金星, 叶俊, 数学模型 (第三版), 北京: 高等教育出版社, 2003。
- [20] 朱德通, 最优化模型与实验, 上海: 同济大学出版社, 2003。

附录:

附表 1:

序号	类型	门诊时间	入院时间	第一次手术时间	第二次手术时间	出院时间
1	白内障 (双眼)	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-9	2008-9-11	2008-9-14
2	视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-22
3	青光眼	2008-8-30	2008-9-7	2008-9-9	/	2008-9-17
4	视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-22
5	视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-22
6	白内障 (双眼)	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-9	2008-9-11	2008-9-14
7	白内障	2008-8-31	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13
8	青光眼	2008-8-31	2008-9-7	2008-9-9	/	2008-9-17
9	白内障 (双眼)	2008-8-31	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-12	2008-9-15
10	视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-13	2008-9-15		2008-9-26
11	视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-13	2008-9-15		2008-9-26
12	视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-13	2008-9-15	/	2008-9-26
13	青光眼	2008-8-31	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
14	白内障	2008-8-31	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13
15	视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-13	2008-9-15	/	2008-9-26
16	视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-14	2008-9-16	/	2008-9-27
17	青光眼	2008-9-1	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
18	白内障 (双眼)	2008-9-1	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-12	2008-9-15
19	白内障 (双眼)	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
20	白内障 (双眼)	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
21	视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-14	2008-9-16	/	2008-9-27
22	白内障	2008-9-1	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13
23	视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-15	2008-9-17		2008-9-28

24	视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-15	2008-9-17	/	2008-9-28
25	白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13
26	白内障	2008-9-2	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
27	白内障 (双眼)	2008-9-2	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
28	白内障	2008-9-2	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
29	视网膜疾病	2008-9-2	2008-9-17	2008-9-19	/	2008-9-30
30	视网膜疾病	2008-9-3	2008-9-17	2008-9-19	/	2008-9-30
31	视网膜疾病	2008-9-3	2008-9-18	2008-9-20	/	2008-10-1
32	白内障 (双眼)	2008-9-3	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
33	白内障	2008-9-3	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
34	视网膜疾病	2008-9-3	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
35	白内障	2008-9-3	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
36	视网膜疾病	2008-9-3	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
37	视网膜疾病	2008-9-3	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
38	白内障 (双眼)	2008-9-4	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
39	白内障	2008-9-4	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
40	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
41	视网膜疾病	2008-9-4	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
42	视网膜疾病	2008-9-4	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
43	视网膜疾病	2008-9-4	2008-9-22	2008-9-24	/	2008-10-5
44	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
45	白内障 (双眼)	2008-9-4	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
46	白内障 (双眼)	2008-9-4	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
47	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
48	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
49	视网膜疾病	2008-9-4	2008-9-22	2008-9-24	/	2008-10-5
50	视网膜疾病	2008-9-4	2008-9-22	2008-9-24	/	2008-10-5

51	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
52	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
53	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
54	视网膜疾 病	2008-9-5	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
55	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
56	青光眼	2008-9-5	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
57	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
58	白内障	2008-9-5	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
59	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
60	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
61	白内障 (双眼)	2008-9-6	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
62	视网膜疾 病	2008-9-6	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
63	青光眼	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
64	白内障 (双眼)	2008-9-6	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
65	视网膜疾 病	2008-9-7	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
66	白内障 (双眼)	2008-9-7	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
67	视网膜疾 病	2008-9-7	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
68	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
69	视网膜疾 病	2008-9-8	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
70	视网膜疾 病	2008-9-8	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
71	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
72	白内障 (双眼)	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
73	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
74	视网膜疾 病	2008-9-8	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
75	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
76	青光眼	2008-9-9	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20

77	青光眼	2008-9-9	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
78	视网膜疾病	2008-9-9	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
79	白内障	2008-9-9	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
80	白内障	2008-9-9	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
81	视网膜疾病	2008-9-10	2008-9-26	2008-9-28		2008-10-9
82	白内障	2008-9-10	2008-9-29	2008-10-1		2008-10-4
83	白内障 (双眼)	2008-9-10	2008-9-27	2008-10-1	2008-10-3	2008-10-6
84	白内障	2008-9-10	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-4
85	白内障	2008-9-10	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-4
86	白内障 (双眼)	2008-9-10	2008-9-27	2008-10-1	2008-10-3	2008-10-6
87	白内障	2008-9-10	2009-10-1	2009-10-5	/	2009-10-8
88	青光眼	2008-9-10	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
89	白内障 (双眼)	2008-9-10	2008-9-28	2008-10-2	2008-10-4	2008-10-7
90	视网膜疾病	2008-9-11	2008-9-26	2008-9-28	/	2008-10-9
91	视网膜疾病	2008-9-11	2008-9-26	2008-9-28	/	2008-10-9
92	青光眼	2008-9-11	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
93	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-9-28	2008-10-2	2008-10-4	2008-10-7
94	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-10-3	2009-10-5	2009-10-7	2009-10-10
95	青光眼	2008-9-11	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
96	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-10-3	2009-10-5	2009-10-7	2009-10-10
97	外伤	2008-9-11	2008-9-11	2008-9-12	/	2008-9-18
98	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-10-3	2009-10-5	2009-10-7	2009-10-10
99	视网膜疾病	2008-9-11	2008-9-26	2008-9-28	/	2008-10-9
100	白内障	2008-9-11	2009-10-3	2009-10-5	/	2009-10-8
101	视网膜疾病	2008-9-11	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-12
102	视网膜疾病	2008-9-11	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-12
序号	类型	门诊时间	入院时间	第一次手术时间	第二次手术时间	出院时间
7	白内障	2008-8-31	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13
14	白内障	2008-8-31	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13

22	白内障	2008-9-1	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13
25	白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-10	/	2008-9-13
26	白内障	2008-9-2	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
28	白内障	2008-9-2	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
33	白内障	2008-9-3	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
35	白内障	2008-9-3	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
39	白内障	2008-9-4	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
58	白内障	2008-9-5	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
68	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
71	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
73	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
75	白内障	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
79	白内障	2008-9-9	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
80	白内障	2008-9-9	2008-9-20	2008-9-22		2008-9-25
82	白内障	2008-9-10	2008-9-29	2008-10-1		2008-10-4
84	白内障	2008-9-10	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-4
85	白内障	2008-9-10	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-4
87	白内障	2008-9-10	2009-10-1	2009-10-5	/	2009-10-8
100	白内障	2008-9-11	2009-10-3	2009-10-5	/	2009-10-8
1	白内障 (双眼)	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-9	2008-9-11	2008-9-14
6	白内障 (双眼)	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-9	2008-9-11	2008-9-14
9	白内障 (双眼)	2008-8-31	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-12	2008-9-15
18	白内障 (双眼)	2008-9-1	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-12	2008-9-15
19	白内障 (双眼)	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
20	白内障 (双眼)	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
27	白内障 (双眼)	2008-9-2	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
32	白内障 (双眼)	2008-9-3	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
38	白内障 (双眼)	2008-9-4	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
45	白内障 (双眼)	2008-9-4	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
46	白内障 (双眼)	2008-9-4	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
51	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
52	白内障	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20

	(双眼)					
53	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
55	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
57	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
59	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-11	2008-9-15	2008-9-17	2008-9-20
60	白内障 (双眼)	2008-9-5	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
61	白内障 (双眼)	2008-9-6	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
64	白内障 (双眼)	2008-9-6	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
66	白内障 (双眼)	2008-9-7	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
72	白内障 (双眼)	2008-9-8	2008-9-20	2008-9-24	2008-9-26	2008-9-29
83	白内障 (双眼)	2008-9-10	2008-9-27	2008-10-1	2008-10-3	2008-10-6
86	白内障 (双眼)	2008-9-10	2008-9-27	2008-10-1	2008-10-3	2008-10-6
89	白内障 (双眼)	2008-9-10	2008-9-28	2008-10-2	2008-10-4	2008-10-7
93	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-9-28	2008-10-2	2008-10-4	2008-10-7
94	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-10-3	2009-10-5	2009-10-7	2009-10-10
96	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-10-3	2009-10-5	2009-10-7	2009-10-10
98	白内障 (双眼)	2008-9-11	2008-10-3	2009-10-5	2009-10-7	2009-10-10
3	青光眼	2008-8-30	2008-9-7	2008-9-9	/	2008-9-17
8	青光眼	2008-8-31	2008-9-7	2008-9-9	/	2008-9-17
13	青光眼	2008-8-31	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
17	青光眼	2008-9-1	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
40	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
44	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
47	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
48	青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
56	青光眼	2008-9-5	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
63	青光眼	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
76	青光眼	2008-9-9	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20

77	青光眼	2008-9-9	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
88	青光眼	2008-9-10	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
92	青光眼	2008-9-11	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
95	青光眼	2008-9-11	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-5
2	视网膜 疾病	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-22
4	视网膜 疾病	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-22
5	视网膜 疾病	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-22
10	视网膜 疾病	2008-8-31	2008-9-13	2008-9-15		2008-9-26
11	视网膜 疾病	2008-8-31	2008-9-13	2008-9-15		2008-9-26
12	视网膜 疾病	2008-8-31	2008-9-13	2008-9-15	/	2008-9-26
15	视网膜 疾病	2008-9-1	2008-9-13	2008-9-15	/	2008-9-26
16	视网膜 疾病	2008-9-1	2008-9-14	2008-9-16	/	2008-9-27
21	视网膜 疾病	2008-9-1	2008-9-14	2008-9-16	/	2008-9-27
23	视网膜 疾病	2008-9-1	2008-9-15	2008-9-17		2008-9-28
24	视网膜 疾病	2008-9-1	2008-9-15	2008-9-17	/	2008-9-28
29	视网膜 疾病	2008-9-2	2008-9-17	2008-9-19	/	2008-9-30
30	视网膜 疾病	2008-9-3	2008-9-17	2008-9-19	/	2008-9-30
31	视网膜 疾病	2008-9-3	2008-9-18	2008-9-20	/	2008-10-1
34	视网膜 疾病	2008-9-3	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
36	视网膜 疾病	2008-9-3	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
37	视网膜 疾病	2008-9-3	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
41	视网膜 疾病	2008-9-4	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
42	视网膜 疾病	2008-9-4	2009-9-20	2009-9-22	/	2009-10-3
43	视网膜 疾病	2008-9-4	2008-9-22	2008-9-24	/	2008-10-5

49	视网膜 疾病	2008-9-4	2008-9-22	2008-9-24	/	2008-10-5
50	视网膜 疾病	2008-9-4	2008-9-22	2008-9-24	/	2008-10-5
54	视网膜 疾病	2008-9-5	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
62	视网膜 疾病	2008-9-6	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
65	视网膜 疾病	2008-9-7	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
67	视网膜 疾病	2008-9-7	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
69	视网膜 疾病	2008-9-8	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
70	视网膜 疾病	2008-9-8	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
74	视网膜 疾病	2008-9-8	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
78	视网膜 疾病	2008-9-9	2008-9-25	2008-9-27	/	2008-10-8
81	视网膜 疾病	2008-9-10	2008-9-26	2008-9-28		2008-10-9
90	视网膜 疾病	2008-9-11	2008-9-26	2008-9-28	/	2008-10-9
91	视网膜 疾病	2008-9-11	2008-9-26	2008-9-28	/	2008-10-9
99	视网膜 疾病	2008-9-11	2008-9-26	2008-9-28	/	2008-10-9
101	视网膜 疾病	2008-9-11	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-12
102	视网膜 疾病	2008-9-11	2008-9-29	2008-10-1	/	2008-10-12
97	外伤	2008-9-11	2008-9-11	2008-9-12	/	2008-9-18

附表 2:

原模型下的周日周六不手术时间安排

类型	门诊	入院	第一次手术	第二次手术	离开医院
白内障 (双眼)	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障 (双眼)	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障 (双眼)	2008-8-31	2008-9-6	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障	2008-9-1	2008-9-6	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15

(双眼)

白内障	2008-8-31	2008-9-7	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-8-31	2008-9-7	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-1	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
青光眼	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-19
青光眼	2008-8-31	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-19
青光眼	2008-8-31	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-19
青光眼	2008-9-1	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-5	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-9	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
青光眼	2008-9-9	2008-9-10	2008-9-16	/	2008-9-24
外伤	2008-9-11	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-21
视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
视网膜疾病	2008-9-2	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27

视网膜疾病	2008-9-3	2008-9-11	2008-9-16	/	2008-9-27
-------	----------	-----------	-----------	---	-----------

修改手术方案后的时间安排（周六周日不手术）

类型	门诊	入院	第一次手术	第二次手术	离开医院
白内障（双眼）	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障（双眼）	2008-8-30	2008-9-5	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障（双眼）	2008-8-31	2008-9-5	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障（双眼）	2008-9-1	2008-9-6	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障（双眼）	2008-9-1	2008-9-6	2008-9-8	2008-9-10	2008-9-15
白内障	2008-8-31	2008-9-7	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-8-31	2008-9-7	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-1	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
白内障	2008-9-2	2008-9-8	2008-9-8	/	2008-9-11
青光眼	2008-8-30	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-19
青光眼	2008-8-31	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-19
青光眼	2008-8-31	2008-9-9	2008-9-11	/	2008-9-19
青光眼	2008-9-1	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-4	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-5	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-6	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-9	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
青光眼	2008-9-9	2008-9-10	2008-9-12	/	2008-9-20
外伤	2008-9-11	2008-9-11	2008-9-12	/	2008-9-18
视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-8-30	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26

病

视网膜疾病	2008-8-31	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-1	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-2	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26
视网膜疾病	2008-9-3	2008-9-11	2008-9-15	/	2008-9-26

程序:

model:

sets:

br / 1..102/;

lb / 1 .. 5/:x;

link(br,lb)/

1, 2 2,4 3,5 4,4 5,4 6,2 7,3 8,5 9,2 10,4
11,4 12,4 13,5 14,3 15,4 16,4 17,5 18,2 19,2 20,2
21,4 22,3 23,4 24,4 25,3 26,3 27,2 28,3 29,4 30,4
31,4 32,2 33,3 34,4 35,3 36,4 37,4 38,2 39,3 40,5
41,4 42,4 43,4 44,5 45,2 46,2 47,5 48,5 49,4 50,4
51,2 52,2 53,2 54,4 55,2 56,3 57,2 58,3 59,2 60,2
61,2 62,4 63,5 64,2 65,4 66,4 67,4 68,3 69,4 70,4
71,3 72,2 73,3 74,4 75,3 76,5 77,5 78,4 79,3 80,3
81,4 82,3 83,2 84,3 85,3 86,2 87,3 88,5 89,2 90,4
91,4 92,5 93,2 94,2 95,5 96,2 97,1 98,2 99,4 100,3
101,4 102,4

/:t,x,y;

da/

39690 39691 39692 39693 39694 39695 39696 39697 39698
39699 39700 39701 39702

/:num,n_in;

endsets

```

data:
t=@file(data2t.txt);
num=@file(data2num.txt);
enddata
!目标函数;
min=@sum(link(i,j):y(i,j)-t(i,j));
!外伤病人入院、手术时间约束;
@for(v(i):x(i)>0);
@sum(v(i):x(i))=0;
@for (link (i,j)|j #eq# 1:
x(i,j)=t(i,j));
@for (link (i,j)|j #eq# 1:
y(i,j)=x(i,j)+1);
!白内障（双眼）病人入院、手术时间约束;
@for (link (i,j)|j #eq# 2:
x(i,j)>=t(i,j));
@for (link (i,j)|j #eq# 2:
y(i,j)>=x(i,j)+1);
!白内障病人入院、手术时间约束;
@for (link (i,j)|j #eq# 3:
x(i,j)>=t(i,j));
@for (link (i,j)|j #eq# 3:
y(i,j)>=x(i,j)+1);
!视网膜病人入院、手术时间约束;
@for (link (i,j)|j #eq# 4:
x(i,j)>=t(i,j));
@for (link (i,j)|j #eq# 4:
y(i,j)>=x(i,j)+2);
!青光眼病人入院、手术时间约束;
@for (link (i,j)|j #eq# 5:
x(i,j)>=t(i,j));
@for (link (i,j)|j #eq# 5:
y(i,j)>=x(i,j)+2);
!白障（双眼）病人手术时间约束;
@for (link (i,j)|j #eq# 2:
@wrap(y(i,j)+5,7)=1);
!白内障病人手术时间约束;
@for (link (i,j)|j #eq# 3:
@abs(@wrap(y(i,j)+5,7)-2)=1);
@for (link (i,j)|j #eq# 4:
@abs(@abs(@wrap(y(i,j)+5,7)-2)-1)>0);
@for (link (i,j)|j #eq# 5:
@abs(@abs(@wrap(y(i,j)+5,7)-2)-1)>0);
@for(da(m): @sum(link(i,j):@if((x(i,j)#EQ#m),1,0))<num(m));

```

```
@for(link (i,j):x(i,j)>=39692);  
@for(link (i,j):x(i,j)<=y(i,j));  
@for(link (i,j):y(i,j)-t(i,j)<=22);  
@for(link (i,j):@gin(x(i,j)));  
@for(link (i,j):@gin(y(i,j)));  
end
```